

Aus den zahnmedizinischen Kliniken der Universität Bern  
Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin  
Direktor: Prof. Dr. Adrian Lussi

Arbeit unter der Leitung von Dr. Brigitte Zimmerli

## **Oberflächenveränderung verschiedener zahnmedizinischer Werkstoffe nach in-vitro Alterung**

Inaugural Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin der Medizinischen  
Fakultät der Universität Bern

vorgelegt von  
Daniela Kuster  
von Schmerikon SG

Originaldokument gespeichert auf dem Webserver der Universitätsbibliothek Bern



Dieses Werk ist unter einem

Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 2.5  
Schweiz Lizenzvertrag lizenziert. Um die Lizenz anzusehen, gehen Sie bitte zu  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ch/> oder schicken Sie einen Brief an Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

## Urheberrechtlicher Hinweis

Dieses Dokument steht unter einer Lizenz der Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 2.5 Schweiz.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ch/>

**Sie dürfen:**



dieses Werk vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen

**Zu den folgenden Bedingungen:**



**Namensnennung.** Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen (wodurch aber nicht der Eindruck entstehen darf, Sie oder die Nutzung des Werkes durch Sie würden entlohnt).



**Keine kommerzielle Nutzung.** Dieses Werk darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden.



**Keine Bearbeitung.** Dieses Werk darf nicht bearbeitet oder in anderer Weise verändert werden.

Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen die Lizenzbedingungen, unter welche dieses Werk fällt, mitteilen.

Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.

Diese Lizenz lässt die Urheberpersönlichkeitsrechte nach Schweizer Recht unberührt.

Eine ausführliche Fassung des Lizenzvertrags befindet sich unter

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ch/legalcode.de>

Von der Medizinischen Fakultät der Universität Bern auf Antrag der Dissertationskommission  
als Dissertation genehmigt.

Promotionsdatum:

Der Dekan der Medizinischen Fakultät:

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Prüfkörperherstellung</i>	5
2.1.1 Keramik	5
2.1.2 Komposit	6
2.1.3 LavaTM Ultimate	6
2.1.4 Componeer	6
2.1.5 Veneer	7
2.2 <i>Studiensetup</i>	7
2.3 <i>Verfahren</i>	9
2.3.1 Farbeinlagerung	9
2.3.2 Simuliertes Zähneputzen	9
2.4 <i>Messungen (M1-M6)</i>	9
2.4.1 Oberflächenrauigkeit	9
2.4.2 Farbmessung	11
2.5 <i>Statistische Auswertung</i>	11
<b>3. Resultate</b>	<b>12</b>
3.1 <i>Oberflächenrauigkeit</i>	12
3.1.1 Keramik	13
3.1.2 Komposit	13
3.1.3 LAVA Ultimate	13
3.1.4 Componeer	13
3.1.5 Veneer	14
3.2 <i>Verfärbung</i>	14
3.2.1 Keramik	15
3.2.2 Komposit	15
3.2.3 LAVA Ultimate	16
3.2.4 Componeer	16
3.2.5 Veneer	16
<b>4. Diskussion</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Oberflächenrauigkeit</i>	17
4.2 <i>Verfärbung</i>	19
4.3 <i>Studienset-up</i>	20
4.4 <i>Ausblick – Relevanz der Daten</i>	21
<b>5. Schlussfolgerung</b>	<b>22</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>23</b>

<b>7. Abstract</b>	<b>24</b>
<b>8. Danksagung</b>	<b>25</b>
<b>9. Referenzen</b>	<b>26</b>
<i>9.1 Literaturverzeichnis</i>	26
<i>9.2 Abbildungsverzeichnis</i>	28
<i>9.3 Tabellenverzeichnis</i>	29
<b>10. Anhang</b>	<b>30</b>

## **1. Einleitung**

Patienten wünschen sich zunehmend ästhetisch anspruchsvollere Rekonstruktionen. Dies erfordert einerseits eine glatte Oberfläche des Füllungsmaterials, andererseits eine hohe Farbbeständigkeit der Materialien. Obschon Kompositmaterialien laufend verbessert werden, zeigen sie nach wie vor ein schlechteres Alterungsverhalten auf als Keramiken.

Die Oberflächenbeschaffenheit dentaler Materialien beeinflusst die Plaqueakkumulation sowie die Verfärbungsanfälligkeit wesentlich. Es wurde gezeigt, dass die kritische Oberflächenrauigkeit für die Bakterienanlagerung bei  $R_a$  von  $0,2\text{ }\mu\text{m}$  liegt (Bollen et al. 1997).

Dabei beschreibt  $R_a$  die mittlere Oberflächenrauigkeit, was der arithmetischen Mittenabweichung des Rauheitsprofils in Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) entspricht.

Eine glatte Oberfläche ist für den Patienten angenehmer. Es wurde nachgewiesen, dass schon kleine Unebenheiten von  $R_a$  zwischen  $0,25$  und  $0,5\text{ }\mu\text{m}$  mit der Zungenspitze wahrgenommen werden (Jones et al. 2004).

Raue Oberflächen haben zudem die Tendenz sich schneller zu verfärben, was ein ästhetisches Problem darstellt (Heintze et al. 2010, Zimmerli et al. 2011).

Keramikoberflächen gelten als sehr inert im Bezug auf Oberflächenabrieb. Heintze et al. (2010) zeigten, dass weder Zeit noch Druck beim Zähneputzen eine Rolle im Bezug auf Abrasion oder Farbveränderung von Keramiken spielen. Hingegen nimmt die Oberflächenrauigkeit verschiedener Komposits durch Bürsten mit verschiedenen Zahnpasten zu. Unter den Komposits schneiden jene mit kleinen Füllerpartikeln besser ab. Nicht nur die Füllergösse, sondern auch die Abrasivität der Zahnpaste spielt bei der Zunahme der Oberflächenrauigkeit eine Rolle. Je tiefer der RDA (relative dentin abrasion) der Zahnpaste, desto geringer ist die Zunahme der Oberflächenrauigkeit (da Costa et al. 2010).

Auch bezüglich Farbveränderungen ist grundsätzlich ein Unterschied zwischen Keramiken und Komposits feststellbar. Durch ihre Farbstabilität sind Keramiken den Komposits nach wie vor überlegen. Die Verfärbungen bei Kompositmaterialien entstehen vorwiegend durch Farbeinlagerungen von aussen, zum Beispiel durch Nahrung oder Nikotin.

Die Farbeinlagerungen sind bei verschiedenen Kompositarten unterschiedlich stark ausgeprägt. So zeigten Nanokomposits in einer Studie von Nasim et al. (2010) eine bessere Farbbeständigkeit gegenüber Tee und Pepsi als mikrogefüllte Komposits.

Das gebräuchlichste System zur Beschreibung von Farben und Farbveränderungen ist das  $L^*a^*b^*$  System der internationalen Beleuchtungskommission (CIE, C.I.E., 1976). Das System stellt die Farben in einem dreidimensionalen Raum dar. Jede Farbe ist durch ihre drei Koordinaten  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  definiert:

$L^*$ : Helligkeitsachse.  $L^*=0$  schwarz,  $L^*=100$  weiss

$a^*$ : Rot/Grün-Achse.  $+a^*$  rot (max. 100),  $-a^*$  grün (max. -150)

b\*: Gelb/Blau-Achse. +b\* gelb (max. 150), -b\* blau (max. -100)

Die Farbdifferenz zwischen zwei Farben wird durch den Betrag des Vektors gemäss folgender Rechnung beschrieben:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \text{ (C.I.E., 1976)}$$

Oberflächenrauigkeit und Farbveränderungen stehen in einem kausalen Zusammenhang. So kann durch Gebrauch der Restauration (Abrasion, Attrition) die Oberflächenrauigkeit zunehmen, was zudem zu einer Zunahme von extrinsischen Verfärbungen führt (Nasim et al. 2010, Furuse et al. 2008).

Vor allem im ästhetischen Bereich sind Farbveränderungen und Oberflächenverschleiss unerwünscht. Um Materialveränderungen der Komposite möglichst zu verringern, wird mittels neuer Konzepte wie *Componeers* und *Veneers* nach einer Verbesserung der Oberflächenstabilität gesucht.

Zu den neusten Entwicklungen in diesem Bereich zählen die *Componeers* der Firma Coltène/Whaladent. Zudem findet man ein *Direct Veneer and Composite System* der Firma Edelweiss, welches sich laut Herstellerangaben durch eine neuartige Oberflächenbearbeitung mittels Laser auszeichnet (gelasertes Nanohybrid-Komposit). Durch diese Laserbearbeitung wird die Anzahl freier Monomere an der Oberfläche minimiert, was eine homogene, maximal glänzende Oberfläche ergibt.

Ziel dieser Studie war es, die Oberflächen- und Farbbeständigkeit verschiedener Materialien wie Keramik, Komposit und vorgefertigter Kompositmaterialien nach verschiedenen Alterungsprozessen zu beurteilen. Dazu wurden folgende Nullhypothesen getestet:

Hypothese 1: Die Oberflächenrauigkeit der verschiedenen Materialien unterscheidet sich nicht.

Hypothese 2: Die Oberflächenrauigkeit aller Materialien unterscheidet sich durch die Alterungsprozesse nicht.

Hypothese 3: Die Farbgebung aller Materialien unterscheidet sich durch die Alterungsprozesse nicht.

## **2. Material und Methoden**

### *2.1 Prüfkörperherstellung*

Es wurden total 75 Prüfkörper aus fünf verschiedenen Materialien hergestellt. Die Materialien sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: *Verwendete Materialien für die Prüfkörper*

<b>Material</b>	<b>Produkt (Farbe)</b>	<b>LOT Nummer</b>	<b>Hersteller</b>
Keramik	Vitablocs® for CEREC®/In Lab®, Mark II, I 12 (3 M2C)	20902	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland
Komposit	IPS Empress Direct (Dentin A3)	N45603	Ivoclar Vivadent, Schaan, Fürstentum Lichtenstein
LAVA Ultimate	for CEREC 14 L (HT A3)	N360566	3M ESPE, St.Paul, USA
Componeer	Componeer L (Universal)	D56013	Coltene/Whaledent, Altstätten, Schweiz
Veneer	Direct Veneer	k.A.	Edelweiss Dentistry, Ruckburg, Österreich

k.A.: keine Angaben vom Hersteller

#### *2.1.1 Keramik*

Keramikblöcke wurden mit einer diamantierten Säge (Low speed saw, IsoMet, Buehler, Lake Bluff, Illinois USA) in Scheiben von je 3 mm Dicke geschnitten. Danach wurden die Keramikscheiben mit der Schleifmaschine LaboPol-21 (Struers, Rodovre, Dänemark) und einem Schleifpapier 220 grit in ihrer Form zugeschliffen. Im Anschluss wurden die Keramikscheiben glasiert. Dazu wurde zunächst Vita Shading Paste "glaze" SP15 (Lot-Nr:25460, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) mit dem Pinsel auf die Keramikoberfläche aufgetragen. Es erfolgte der Glasurbrand im Brennofen (Programat CS, Seriennummer: 501086, Ivoclar Vivadent) gemäss den Herstellerangaben (500 °C Starttemperatur, 4 Min Vortrockenzeit, 5.37 Min Aufheizzeit, 80 °C/Min Temperaturanstieg während Aufheizzeit, 950 °C Endtemperatur, 1 Min Haltezeit). Die so vorbereiteten Keramikscheiben wurden danach mit Hilfe eines Stahlrings eingebettet, indem dieser mit Kunststoff (Paladur, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) aufgefüllt wurde.



### *2.1.2 Komposit*

Für die Komposit-Prüfkörper wurden zunächst Plexiglasformen (Höhe 3 mm) vorbereitet. Es wurde eine runde Öffnung mit einem Durchmesser von etwa 6,5 mm mit zwei kleinen Retentionszapfen präpariert. Dies geschah mittels eines diamantierten Schleifkörpers.

Die Förmchen wurden auf einen Objektträger gelegt und die Öffnung mit IPS Empress Direct (Dentin A3, Ivoclar Vivadent) gefüllt. Auf das Komposit wurde eine durchsichtige Matrize gelegt, um eine glatte Oberfläche zu erzeugen. Das Komposit wurde mit einer Polymerisationslampe (bluephase, Ivoclar Vivadent) für 20 s polymerisiert. Vor jeder Benutzung der Polymerisationslampe wurde deren Leistung mit dem bluephase® meter (Ser. No 001561; 4,5V; Ivoclar Vivadent) überprüft. Sie erreichte stets einen Wert von über 1000 mW/cm<sup>2</sup>.

Die so vorbereiteten Komposit-Prüfkörper wurden wiederum gleich wie die Keramikscheiben mit Paladur (Heraeus Kulzer GmbH) eingebettet. Nach dem Herauslösen aus dem Stahlring wurden die Komposit Prüfkörper mit Kenda Dental Polishers Hybrid (grau und rosa, Kenda AG, Vaduz, Fürstentum Lichtenstein, LOT 5247) von Auge auf Hochglanz poliert.

### *2.1.3 Lava™ Ultimate*

Analog zur Keramik wurde ein Lava™ Ultimate Block (3M Espe) mit einer diamantierten Säge in Scheiben von jeweils 3 mm Dicke geschnitten und mit der Schleifmaschine LaboPol-21 in ihrer Form zugeschliffen. Die Einbettung erfolgte analog der Einbettung der Keramikscheiben mit Paladur (Heraeus Kulzer).

Nach dem Herauslösen aus dem Stahlring wurden die Lava™ Ultimate Scheiben wie die Komposit-Prüfkörper mit Dental Polishers Hybrid (Kenda) auf Hochglanz poliert.

### *2.1.4 Componeer*

Die Componeers (Coltène/Whaledent) wurden zunächst zurechtgeschliffen, damit sie in den Einbettring passten. Die Componeer-Schalen wurden 30 Sekunden mit Etchant Gel S (Coltène/Whaledent, LOT C47509) geätzt, danach 20 Sekunden Wasserspray abgespült und 2 Sekunden mit Luft getrocknet. Es folgte die Vorbehandlung mit dem One Coat Bond (Coltène/Whaledent, LOT C38440) für 20 Sekunden, Lufttrocknung für 2 Sekunden und anschliessender Lichtpolymerisation für 10. Nach dieser Vorbehandlung gemäss Produktanleitung der Herstellerfirma wurde mit Komposit (Dentin Synergy D6, Coltène/Whaledent, LOT D58290, Dentin A2/B2) ein kleiner Sockel geformt. Dieser wurde auf einem Objektträger platziert und das Componeer darauf ausgerichtet, so dass eine möglichst grosse plane Fläche des Componeers die Höhe des Stahlringes einige Mikrometer überragte. Das Komposit wurde von zwei Seiten je 20 Sekunden lang polymerisiert. Im Anschluss wurden die verbliebenen Hohlräume zwischen Komposit und Stahlring mit Paladur aufgefüllt.

### *2.1.5 Veneer*

Die Veneers (Edelweiss Dentistry) wurden zunächst ebenfalls zurechtgeschliffen, damit sie in den Ring passten. Mit ihnen wurde verfahren wie mit den Componeers. Jedoch wurde für den Sockel dieser Prüfkörper IPS Empress Direct (Dentin A3, Ivoclar Vivadent) verwendet.

## *2.2 Studiensetup*

Das Setup für die Studie wurde in Anlehnung an die Studie von Zimmerli et al. (2011) gestaltet und findet sich in Abbildung 1. Nach jedem Versuchsabschnitt (M1-M6) wurden eine Farbmessung und eine Oberflächenrauigkeitsmessung durchgeführt. Die ersten Messungen (M1) folgten direkt auf die Prüfkörperherstellung. Nachdem die Prüfkörper für 24 Stunden in Kaffee eingelegt worden waren, erfolgten die zweiten Messungen (M2). Darauf folgten 20'000 Bürstenstriche simuliertes Zahnbürsten (M3). Das gleiche Vorgehen wurde wiederholt: zunächst wurden die Prüfkörper 24 Stunden in Kaffee eingelegt (M4) und im Anschluss daran erneut mit 20'000 Strichen gebürstet (M5). Zum Schluss wurden die Prüfkörper mit 40'000 Bürstenstrichen gebürstet (M6).

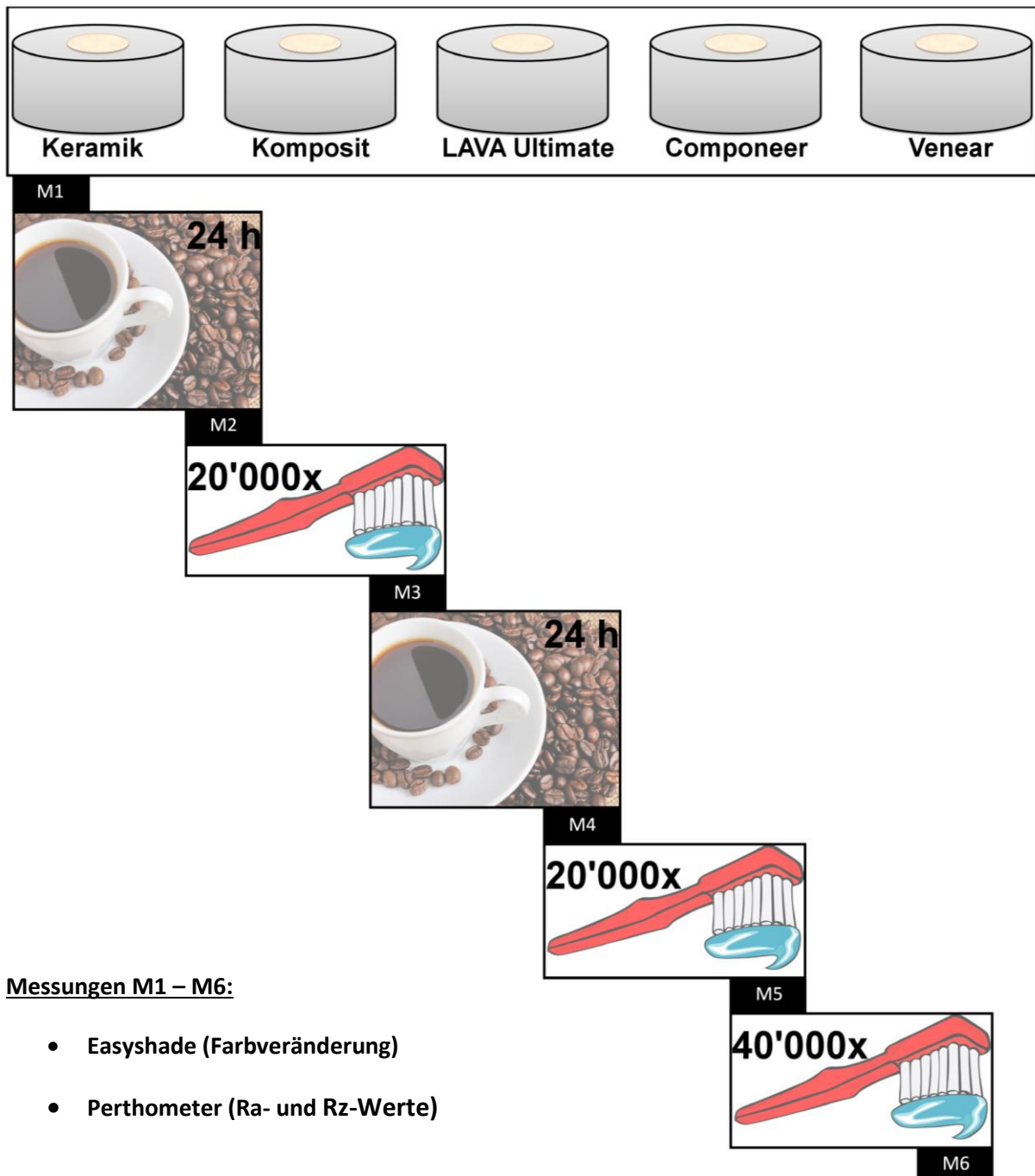


Abb. 1: Studiensetup. Darstellung der einzelnen Alterungsvorgänge mit Einlegen in Kaffee und simuliertem Zahnbürsten

## *2.3 Verfahren*

### *2.3.1 Farbeinlagerung*

Als Färbemittel wurde Kaffee gewählt. Die Prüfkörper wurden jeweils in schwarzen Kaffee eingelegt und bei 37°C im Inkubator (Memmert, Schlierheim, Deutschland) während 24 Stunden gelagert. Der Kaffee (Rosabaya de Colombia, Nespresso, Nestlé, Nespresso S.A., Lausanne, Schweiz) wurde gemäss dem Programm „Espresso“ mit einer Kapsel (10 g) und 40 ml Wasser in einer automatischen Kaffeemaschine zubereitet.

Nach Lagerung im Kaffee wurden die Prüfkörper mit destilliertem Wasser gründlich abgespült.

### *2.3.2 Simuliertes Zähneputzen*

Zunächst wurde für das simulierte Zähneputzen ein Zahnpasta-Gemisch hergestellt. Die Mischung wurde im Verhältnis 1 Teil Zahnpasta (M-Budget, karieshemmende Zahnpasta, Migros-Genossenschaftsbund, Zürich, Schweiz, LOT 74559, RDA ca. 70) zu 2 Teilen destilliertem Wasser angesetzt und für etwa 15 Minuten auf einem Magnetrührer vermischt. Je 35 ml des Zahnpasta-Gemischs wurde in die Reservoirs der Bürstmaschine (Bürstmaschine linear LR1, Nr. LR1,08.06.09, Syndicad, München, Deutschland) gegeben. Die Prüfkörper mussten präzise in der Höhe eingestellt und mit einem Schraubenzieher befestigt werden. Es wurden Referenzzahnbürsten mit gradem Bürstenkopf und runden Borsten (Filamentdurchmesser 0,2 mm; Filamentmaterial: Nylon 6.12, Anzahl Filamentbüschel: 39, Anzahl Filamente je Büschel: 38-44, Härtegrad: „soft“) (ADA, American Dental Association, Chicago, IL, USA) verwendet. Diese wurden in die Halterung der Maschine eingespannt, so dass die Bürstenköpfe den Prüfkörpern exakt plan auflagen und eine Kraft von 2 N ausübten. Dies konnte mit Hilfe einer Waage und Gewichten eingestellt werden. Die Maschine wurde auf eine Frequenz von 1 Hz eingestellt, so dass pro Sekunde ein Zyklus (einmal vor und wieder zurück) absolviert wurde. Die Maschine absolvierte folglich zwei Bürstenstriche pro Sekunde.

Für jeden Prüfkörper wurde dieselbe Zahnbürste für alle drei Testserien (20'000, 20'000 und 40'000 Bürstenstriche) verwendet. Das Zahnpasta-Gemisch wurde für jede Serie neu angemischt. Vor der Messung der Prüfkörperoberfläche wurden die Prüfkörper mit Leitungswasser abgespült.

## *2.4 Messungen (M1-M6)*

### *2.4.1 Oberflächenrauigkeit*

Die Prüfkörper wurden mit einem Profilometer (Perthometer S2, Mahr AG, Thalwil, Schweiz), welches Oberflächenunregelmässigkeiten ermittelt, vermessen. Vor jedem Gebrauch wurde das Perthometer gemäss Herstelleranleitung auf seine Messpräzision überprüft.

Das Profilometer wurde auf eine Messlänge von 1,75 mm und einen Abschnittlänge von 0,25 mm eingestellt. Das Gerät liefert Angaben über die arithmetische Mittenabweichung aus dem Rauheitsprofil (Ra) (Abb. 1), sowie den Mittelwert aus den Rautiefen fünf aufeinanderfolgender Einzelstrecken (Rz) (Abb. 2) in Mikrometern. So wurde jeder Prüfkörper 3-mal vermessen, wobei die Messrichtungen jeweils in einem 60° Winkel zu einander lagen.

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y| dx$$

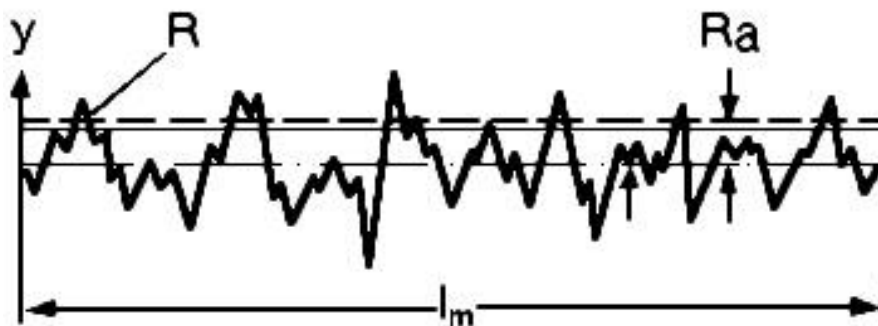


Abb.2: Berechnung des Rauigkeitswertes Ra mit der Distanz  $l_m$  [m], welche die Schreibspitze auf dem Prüfkörper zurücklegt. R ist die Kurve der Rauigkeit.

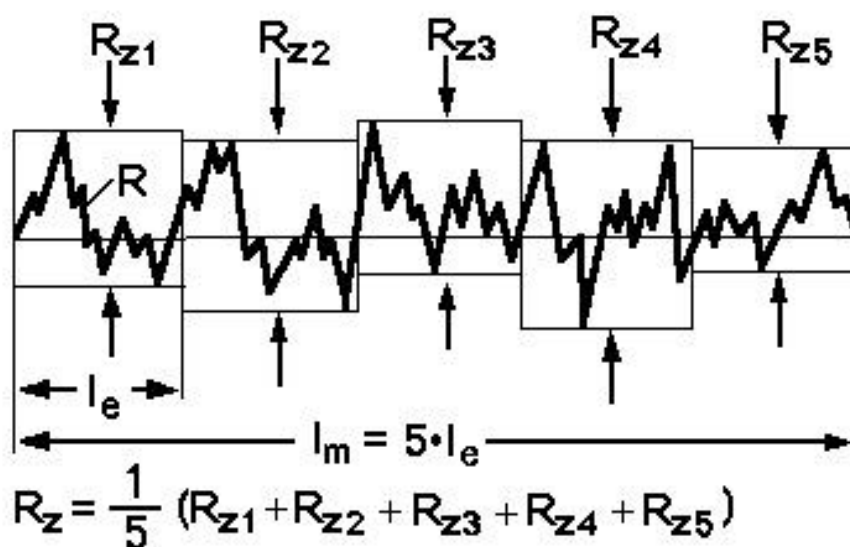


Abb.3: Berechnung des Rauigkeitswertes Rz bestehend aus dem Mittelwert von  $R_{z1}$  bis

*Rz<sub>5</sub>. R und I<sub>m</sub> siehe Abbildung 2, I<sub>e</sub> ist die Länge eines einzelnen Messabschnittes.*

#### *2.4.2 Farbmessung*

Die Farbmessung erfolgte mit dem Easyshade® Advance (Model #DEASYCHP, Serial No: H24032, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland), welches zunächst aufgewärmt und gemäss Empfehlung des Herstellers kalibriert wurde.

Da sowohl das Einbettmaterial, als auch das Komposit, die Componeers und die Veneers gering lichtdurchlässig sind, wurden je drei Messungen gegen einen schwarzen und gegen einen weissen Hintergrund vorgenommen. Das Messinstrument wurde jeweils in der Prüfkörpermitte angesetzt, die Messung ausgelöst und die Messwerte anschliessend von Hand auf den Computer übertragen. Die drei Messwerte gegen schwarz und gegen weiss wurden jeweils gemittelt und gemäss der folgenden Gleichung konnte die Farbdifferenz errechnet werden.  $\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$  (C.I.E., 1976)

#### *2.5 Statistische Auswertung*

Alle Werte der Farbmessungen und der Oberflächenrauigkeitsmessungen wurden einer statistischen Analyse unterzogen. Mögliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen (G) und den Messpunkten (M), sowie auch das Produkt der experimentellen Interaktionen (G:M) wurden untersucht. Dazu wurde ein nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten in faktoriellen Experimenten mit einem Signifikanzlevel von  $\alpha=0,05$  angewandt (Brunner-Langer F1\_LD\_F1, Brunner, Domhof, Langer, 2002).

### 3. Resultate

#### 3.1 Oberflächenrauigkeit

Die Messwerte der mittleren Oberflächenrauigkeit Ra und deren Veränderung während der experimentellen Alterung sind in der Abbildung 2 dargestellt. In Abbildung 3 ist die Entwicklung der Rz Werte dargestellt.

Sowohl der Effekt der Gruppen untereinander (G), als auch jener der verschiedenen Messpunkte während des Versuchsablaufes (M), sowie deren Interaktion (G:M) war für Ra und Rz signifikant. Somit verhielten sich die Gruppen signifikant unterschiedlich über die Messungen (Tabellen 2 und 3). Inwiefern sie sich unterschiedlich verhielten sieht man im Median-Plot (Abbildungen 4 und 5). Zu Beginn der Versuchsreihe zeigten alle Materialien ein ähnliches Verhalten, mit zunehmender Alterung fiel vor allem Empress direct mit markant höheren Messwerten auf.

Tabelle 2: Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten: Ra

	Statistik	df	p-Wert
G	194,5267	3,779155	<0,0001
M	189,8329	3,167354	<0,0001
G:M	56,5203	10,471977	<0,0001

Tabelle 3: Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten: Rz

	Statistik	df	p-Wert
G	216,1390	3,377141	<0,0001
M	241,3307	3,274167	<0,0001
G:M	66,6895	10,121268	<0,0001

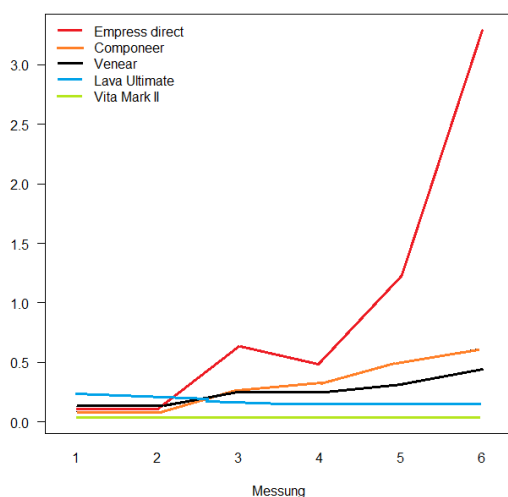


Abb. 4: Median Ra der untersuchten Materialien

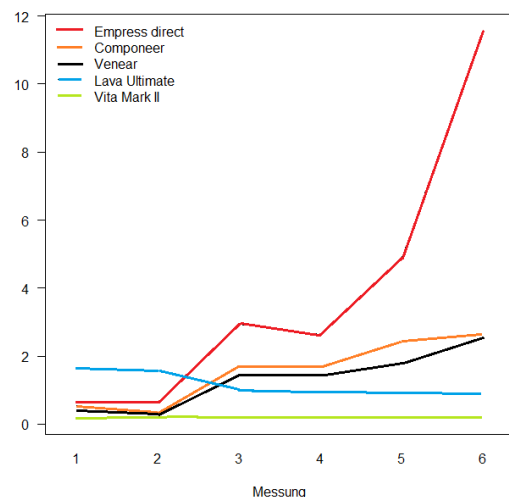


Abb. 5: Median Rz der untersuchten Materialien

### 3.1.1 Keramik

Die Ra Werte lagen bei durchschnittlich  $0,046\ \mu\text{m} \pm 0,02$  zu Versuchsbeginn. Die Differenz zwischen den Messungen lag im Bereich von maximal  $0,025\ \mu\text{m}$ . Folglich wichen die einzelnen Messungen nur gering von der Ausgangsmessung M1 ab. Kleine Unterschiede zwischen den Messungen waren zu erwarten, da zum Messen nicht immer exakt dieselbe Stelle getroffen wurde. Man kann also sagen, dass die Oberflächenrauigkeit beinahe konstant blieb. Zudem lagen die Messwerte stets unter dem Grenzwert  $0,2\ \mu\text{m}$  für die Bakterienretention.

Die Rz Werte lagen bei Werten von  $0,18\ \mu\text{m} \pm 0,04$  und zeigten ebenfalls nur geringe Veränderungen im Versuchsablauf. Die Abweichungen lagen bei  $0,01\ \mu\text{m}$ .

### 3.1.2 Komposit

Die Ra Werte betrugen zu Beginn durchschnittlich  $0,114\ \mu\text{m} \pm 0,04$  und lag somit deutlich unter dem Grenzwert der Bakterienretention. Durch Einlegen in den Kaffee war keine merkliche Änderung der Oberflächenrauigkeit feststellbar. Jedoch erhöhte sich diese durch das simulierte Zahnbürsten stark. Zunächst auf einen durchschnittlichen Wert von  $0,83\ \mu\text{m}$ , nach dem zweiten und dritten Zyklus auf durchschnittliche Werte von  $1,8\ \mu\text{m}$  beziehungsweise  $4,3\ \mu\text{m}$ . Der Grenzwert der Bakterienretention wurde schon nach dem ersten Zyklus des simulierten Zähneputzens deutlich überschritten.

Die Rz-Werte lagen zu Beginn bei durchschnittlich  $0,635\ \mu\text{m} \pm 0,2\ \mu\text{m}$ . Sie nahmen durch das simulierte Zähnebürsten ebenfalls stark zu und erreichten am Ende des Versuches Werte von durchschnittlich  $15,8\ \mu\text{m}$ .

### 3.1.3 LAVA Ultimate

Die Ra-Werte der LAVA Ultimate-Prüfkörper lagen zunächst knapp über dem Grenzwert der Bakterienretention von  $0,2\ \mu\text{m}$  bei durchschnittlichen  $0,22\ \mu\text{m}$ . Sie veränderten sich im Laufe der Versuchsreihe nur geringfügig, bewegten sich stets im Bereich des Grenzwertes mit durchschnittlichen  $0,16\ \mu\text{m}$  bis  $0,22\ \mu\text{m}$ . Analog der Keramik blieb die Oberflächenrauigkeit konstant. Die Oberfläche war jedoch leicht rauer als jene der Keramik.

Die Rz-Werte bewegten sich im Bereich zwischen  $1\ \mu\text{m}$  und  $1,4\ \mu\text{m}$ . Zu Beginn waren sie etwas grösser, nahmen aber nach dem ersten Zyklus des simulierten Zähneputzens ab. Die einzelnen Prüfkörper zeigten nur geringe Schwankungen zwischen den Messpunkten auf.

### 3.1.4 Composeer

Die Ra-Werte der Composeers lagen vor dem simulierten Zähneputzen mit durchschnittlichen Werten von  $0,1\ \mu\text{m}$  deutlich unterhalb des Grenzwertes der Bakterienretention. Durch



das simulierte Zähneputzen nahm die Oberflächenrauigkeit jedoch deutlich zu. So bewegten sich die Werte nach dem ersten Zyklus bei 0,25 µm, am Versuchsende gar bei 0,48 µm. Die Zunahme der Oberflächenrauigkeit widerspiegelt sich auch in den gemessenen Rz-Werten. Diese steigen von anfänglichen 0,7 µm auf einen durchschnittlichen Endwert von 2,2 µm.

### 3.1.5 Venear

Mit den Veneers verhielt es sich sehr ähnlich wie mit den Componeers. Die Ra-Werte lagen zu Beginn und nach dem ersten Zyklus der Verfärbung noch weit unter dem Grenzwert der Bakterienretention, dies mit Werten von 0,13 µm bis 0,14 µm. Durch das simulierte Zähneputzen nahmen die Werte rapide auf durchschnittliche 0,35 µm zu. Die Veränderungen nach dem zweiten Zyklus der Farbeinlagerung waren wiederum gering. Durch weitere 20'000 und anschliessend 40'000 Bürstenstriche nahm die Oberflächenrauigkeit nochmals sehr stark zu. So waren am Versuchsende durchschnittliche Werte von 0,78 µm messbar.

Die Rz-Werte steigen in ähnlicher Art und Weise von einem Anfangswert von 0,7 µm auf einen Endwert von 3,8 µm.

## 3.2 Verfärbung

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen das Ausmass der Farbveränderung ( $\Delta E$ ) der Farbmesswerte der Messpunkte M2 bis M6 jeweils bezüglich den Farbmesswerten der Ausgangsmessung (M1).

Statistisch signifikante Farbveränderungen wurden in allen 5 Gruppen (G) zwischen allen Messpunkten (M) und im Zeitverlauf der Gruppen (G:M) gefunden (Tabellen 4 und 5).

Die Auswertung erfolgte für die Messungen gegen einen schwarzen und einen weissen Hintergrund getrennt.

Tabelle 4: *Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten:  $\Delta E$  zu M1 bei schwarzem Hintergrund*

	Statistik	df	p-Wert
G	29,57157	3,422743	<0,0001
M	86,25577	3,424157	<0,0001
G:M	10,81804	10,671794	<0,0001

Tabelle 5: *Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten:  $\Delta E$  zu M1 bei weissem Hintergrund*

	Statistik	df	p-Wert
G	35,46209	3,044235	<0,0001
M	117,51988	3,442901	<0,0001
G:M	12,13358	9,357604	<0,0001

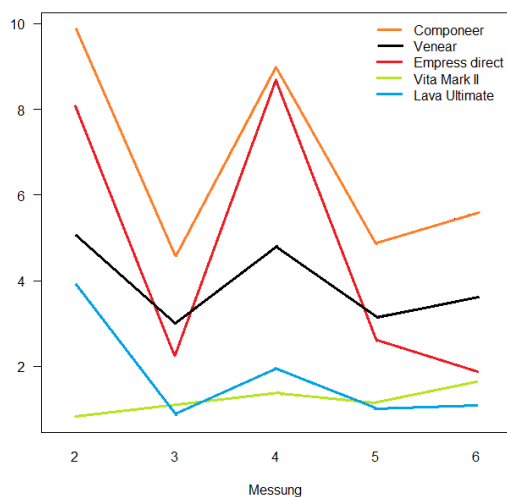


Abb. 6: Median von  $\Delta E$  zu M1 bei schwarzem Hintergrund der untersuchten Materialien

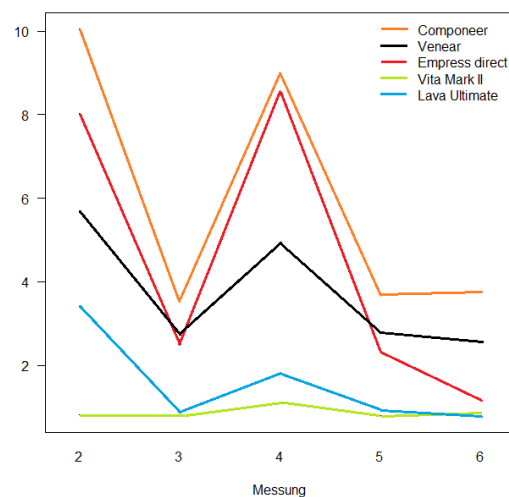


Abb. 7: Median von  $\Delta E$  zu M1 bei weissem Hintergrund der untersuchten Materialien

### 3.2.1 Keramik

Die einzelnen Werte für  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  unterschieden sich bei den Messungen gegen den schwarzen Hintergrund zwischen den einzelnen Prüfkörper zu Beginn geringfügig, sie blieben aber für jeden einzelnen Prüfkörper über den ganzen Versuchsablauf hinweg beinahe konstant.  $\Delta E$  zwischen den einzelnen Messungen beträgt im Mittel 0,61,  $\Delta E$  zu der jeweils ersten Messung durchschnittlich 1,37.

Die Messwerte bei den Messungen gegen den weissen Hintergrund unterschieden sich nur gering von jenen gegen den schwarzen Hintergrund. Die gemessene Farbdifferenz  $\Delta E$  zwischen den einzelnen Messungen war tendenziell kleiner, als bei den Messungen gegen den schwarzen Hintergrund.  $\Delta E$  blieb bei konstant tiefen Werten.

### 3.2.2 Komposit

Das Komposit zeigte sehr starke Farbveränderungen. So betrug  $\Delta E$  der Messungen gegen den schwarzen Hintergrund nach dem ersten Zyklus der Kaffeeeinlagerung etwa 8 Einheiten. Das simulierte Zähneputzen vermochte einen Grossteil der Verfärbungen zu beseitigen, die Farbveränderung  $\Delta E$  bezogen auf die Anfangsmessung M1 betrug noch circa 2 Einheiten. Der zweite Zyklus von Kaffeeeinlagerung und simuliertem Zähneputzen wies dieselben Charakteristiken, einen starkes Ansteigen von  $\Delta E$  auf über 8 Einheiten gefolgt von einer erneuten Annäherung zur Ausgangsfarbe mit  $\Delta E$  von 2,5 Einheiten, auf. Durch den letzten Zyklus des simulierten Zähneputzens konnte die Farbe noch näher an die Ausgangsfarbe angenähert werden,  $\Delta E$  zwischen M1 und M6 lag unter 2 Einheiten.

Die Messungen gegen den weissen Hintergrund ergaben sehr ähnliche  $\Delta E$  Werte der einzelnen Messpunkte im Vergleich zu M1. Die Abnahme von  $\Delta E$  nach dem letzten Zyklus des simulierten Zähneputzens war aber deutlicher ausgeprägt.

### 3.2.3 LAVA Ultimate

LAVA Ultimate zeigte nach der ersten Kaffeeeinlagerung  $\Delta E$  Werte von 4 Einheiten. Durch das simulierte Zähneputzen erfolgte eine Annäherung zur Ausgangsfarbe,  $\Delta E$  sank auf unter eine Einheit ab. Der zweite Zyklus der Kaffeeeinlagerung hatte geringere Auswirkungen auf die Farbveränderung der LAVA Ultimate Prüfkörper. So stieg  $\Delta E$  nur auf 2 Einheiten, um durch das nachfolgende simulierte Zähneputzen erneut auf sehr tiefe Werte zu sinken. Diesen Verlauf konnte man sowohl bei den Messungen gegen den schwarzen, als auch bei jenen gegen den weissen Hintergrund feststellen.

### 3.2.4 Componeer

Die Helligkeits-Werte waren für die Messungen gegen den schwarzen Hintergrund um 6 bis 7 Einheiten tiefer, als für die Messungen gegen den weissen Hintergrund. Die Componeers selbst liessen also einen beachtlichen Teil des Lichtes durchscheinen. Der Verlauf der Messungen war jedoch bei den unterschiedlichen Hintergründen identisch. Durch das Einlegen in Kaffee veränderte sich die Farbe stark,  $\Delta E$  betrug beinahe 10 Einheiten. Diese Farbveränderung war demzufolge auch von Auge gut sichtbar. Das simulierte Zähneputzen bewirkte, wie dies bereits beim Komposit feststellbar war, eine Annäherung an die Ausgangsfarbe mit einer Abnahme von  $\Delta E$  auf 4-5 Einheiten.

Im Verlauf verhielten sich die Componeer Prüfkörper sehr ähnlich wie das Komposit. Die Messungen gegen den schwarzen und den weissen Hintergrund zeigten ebenfalls in etwa denselben Verlauf. Bei den Messungen gegen den weissen Hintergrund lagen jedoch die  $\Delta E$  Werte nach jedem simulierten Zähneputzen etwa eine Einheit tiefer als bei den Messungen gegen den schwarzen Hintergrund.

### 3.2.5 Veneer

Ähnlich wie die Komposit und die Componeer Gruppe zeigten die Veneers grosse Farbveränderungen nach der Kaffeeeinlagerung, also bei M2 und M4, wobei die Werte für  $\Delta E$  mit 5 bis 6 Einheiten deutlich unter jenen der anderen beiden Gruppen lagen. Die Annäherung zur Ausgangsfarbe nach dem simulierten Zähneputzen führte zu  $\Delta E$  Werten von circa 3 Einheiten bei M3, M5 und M6.

Die Farbdifferenz  $\Delta E$  zwischen den einzelnen Messungen war geringer als beim Komposit und den Componeers, jedoch grösser als bei der Keramik und dem LAVA Ultimate.

## **4. Diskussion**

### *4.1 Oberflächenrauigkeit*

Die Ausgangssituation der mittleren Oberflächenrauigkeit ( $R_a$ ) sowie der Mittelwert aus den Rautiefen fünf aufeinanderfolgender Einzelstrecken ( $R_z$ ) zeigten sehr unterschiedliche Werte für die verschiedenen Materialien. Somit musste die erste Arbeitshypothese verworfen werden. Auch die zweite Arbeitshypothese musste verworfen werden, da die verschiedenen Materialien unterschiedlich auf die Zahnbürstenabrasion reagierten.

Die Keramik zeigte kaum eine Zunahme der Oberflächenrauigkeit, sie kann daher als sehr inertes Restaurationsmaterial betrachtet werden.

Die LAVA Ultimate Prüfkörper verhielten sich relativ ähnlich wie die Keramik. Sie wiesen jedoch zu Beginn einen höheren Wert für die Oberflächenrauigkeit  $R_a$  auf und bewegten sich während des Versuchsablaufes immer um den Grenzwert der Bakterienretention von  $0,2\text{ }\mu\text{m}$  (Jones et al. 2004). Der hohe Anteil an anorganischer Matrix und die industrielle Auspolymerisation des Materials sind sicher Faktoren, welche die Stabilität des Materials begünstigen. Die Oberflächenrauigkeit war möglicherweise grösser als bei der Keramik, da die Prüfkörper von Hand und lediglich visuell auf Hochglanz poliert wurden. Durch die spätere Zahnbürstabrasion kam es wahrscheinlich zu einem Politureffekt, was die Rauigkeit des Materials leicht heruntersetzte.

Die  $R_z$ -Werte waren zu Versuchsbeginn deutlich höher und nahmen stärker ab als die  $R_a$ -Werte. Das könnte daran liegen, dass bei der Berechnung der  $R_z$ -Werte auch grosse Peaks in den einzelnen Messabschnitten berücksichtigt werden,  $R_a$  jedoch lediglich der Mittelwert der Oberflächenrauigkeit angibt. Dadurch werden bei der Berechnung beider Werte zum Teil grössere Differenzen sichtbar.

Das Komposit, sowie auch die Edelweiss Veneers zeigten einen starken Anstieg der Oberflächenrauigkeit durch das simulierte Zähneputzen. Der starke, beinahe exponentielle Anstieg bei den Kompositprüfkörper scheint abhängig vom Druck und der verwendeten Zahnpasta (da Costa et al. 2010, Heintze et al. 2009) zu sein. Im vorliegenden Studienaufbau wurde versucht, mit Standardbedingungen zu arbeiten, wie sie in der Klinik anzutreffen sind. Das bedeutet, dass mit einer Zahnpasta mit mittlerem Abrasionswert ( $RDA\ 70$ ) und einer durchschnittlichen Zahnbürstenanpresskraft von  $2\text{ N}$ , basierend auf anderen Studien (Neme et al. 2003, Heintze & Forjanic, 2005) und unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Anpresskraft eines Menschen von  $140\text{ g}$  bis  $720\text{ g}$ , gearbeitet wurde.

Während bei Lava Ultimate ein Poliereffekt vermutet wird, trifft das auf die Materialien mit höheren Matrix-Anteilen nicht zu. Ein Grund für diesen Unterschied liegt sicherlich darin, dass die Matrix relativ anfällig auf Abrasion ist (Suzuki et al. 2009), während die Füller als

anorganische Materialien relativ inert sind. Dadurch kommt es zu einem Auswaschen bzw. Wegbürsten der Matrix rund um die Füller und erst wenn relativ viel Matrix abradiert ist, werden auch die oberflächlichen Füllerbestandteile aus dem Materialverbund gelöst. Diese Auswaschung von Matrix macht sich als Stufen in der Materialoberfläche und folglich in einer höheren Rauigkeit bemerkbar.

Eine ähnliche Schlussfolgerung lässt sich auch für die Componeers machen. Jedoch war bei den Componeers der Anstieg der Oberflächenrauigkeit um einiges geringer: Der durchschnittliche Messwert betrug bei der letzten Messung circa 0,5  $\mu\text{m}$ .

Veneer und Componeer wiesen bei der Ausgangsmessung sehr ähnliche Werte auf. Durch das simulierte Zähneputzen nahm die Oberflächenrauigkeit bei beiden Gruppen zu, bei den Veneers aber um einiges mehr. Das mag darauf zurückzuführen sein, dass durch den oberflächlichen Abrieb der gelaserten oberflächlichsten Schicht der Veneer die Rauigkeitsdifferenz zur Anfangsmessung wesentlich höher ausfiel als bei den Componeers.

Komposit, Veneer und Componeer bestehen alle aus Nanohybrid-Komposit. Das heisst, die Zusammensetzung des Materials ist grundsätzlich gleich. Die grössere Anfälligkeit auf Alterungsprozesse bei der Kompositgruppe mag darin liegen, dass die Prüfkörper individuell modelliert (mögliche Inhomogenität) und mit einer handelsüblichen Polymerisationslampe (nicht perfekte Polymerisation) gehärtet wurden, während sowohl Componeers als auch Veneers industriell hergestellt werden und einer Qualitätsprüfung am Ende der Fabrikation unterzogen werden. Zudem scheint der Fülleranteil in den industriellen Kompositen höher zu sein, da das Material nicht durch den Zahnarzt selbst modelliert werden muss. Laut Herstellerangaben weisen sowohl Componeers als auch Edelweiss Veneers 65 Vol.-% Fülleranteil auf, wohingegen der Fülleranteil beim IPS Empress laut Angaben des Herstellers bei 52 bis 59 Vol.-% liegt.

Die Aushärtung eines Komposits wird durch die Konversionsrate angegeben. Sie beschreibt den Prozentsatz der umgesetzten C=C Doppelbindungen. Je höher die Konversionsrate, desto weniger freie Monomere sind vorhanden. Die Konversionsrate von Komposit beträgt bei intraoraler Härtung etwa 60-80% (Shin et al. 2009, Emami et al. 2005). Bei der industriellen Härtung ist davon auszugehen, dass diese Konversionsrate etwas höher ausfällt. Dies, da mit höheren Temperaturen, längeren Belichtungszeiten und einer Polymerisation von allen Seiten gearbeitet werden kann. Dadurch wird das Komposit gleichmässiger gehärtet. Zudem könnte die Polymerisation in sauerstoffarmer Umgebung stattfinden, wodurch die Bildung einer Sauerstoffinhibitionsschicht, welche übermässig viele freie Monomere aufweist, an der Oberfläche verhindert wird. Es ist also anzunehmen, dass die Veneers und Componeers, welche industriell gefertigt werden, eine höhere Konversionsrate aufweisen als das Komposit. Folglich finden sich bei dieser Gruppe auch weniger freie, reaktive C=C Doppelbindungen.

Bezüglich der Rauigkeit können diese freien Monomere einen Einfluss haben, denn sie können durch das simulierte Zähneputzen leichter aus dem Verbund gelöst werden (Suzuki et al. 2009). Zudem sind freie Monomere im chemischen Gefüge instabiler und können leichter Verbindungen mit anderen Substanzen eingehen.

#### *4.2 Verfärbung*

Die dritte Arbeitshypothese musste verworfen werden, weil die verschiedenen Materialien unterschiedlich starke Verfärbungen aufwiesen.

Man unterscheidet grundsätzlich extrinsische von intrinsischen Verfärbungen, wobei erstere vorwiegend durch Ernährungsfaktoren, sowie durch den Konsum von Tabakwaren bedingt sind (Azer et al. 2010, Pontefract et al. 2004). Für diese Studie wurde Kaffee als Färbemittel verwendet, da bereits in früheren Studien gezeigt werden konnte, dass Kaffee gut messbare Verfärbungen produziert (Solares et al. 2007).

Die Farbmessungen wurden mittels des Spektrometers Easyshade durchgeführt. Durch Dozic et al. wurde gezeigt, dass das Spektrometer Easyshade sowohl in vitro, als auch in vivo zuverlässige Resultate liefert (Dozic et al. 2007). Dies, obwohl nach wie vor davon ausgegangen wird, dass Messungen von Farbmessgeräten und die Farbbestimmung eines Betrachters mit Hilfe Farbring nicht zum selben Resultat führen (Burkhard et al. 2005).

Mittels Spektrometer wurden die Farbparameter  $L^*a^*b^*$  ermittelt, welche die Koordinaten der Farbe im dreidimensionalen Farbraum wiedergeben. Farbveränderungen ( $\Delta E$ ) können somit als Betrag des Vektors zweier Messwerte ausgerechnet werden, es handelt sich hierbei also stets um positive Resultate. Aus diesen errechneten Resultaten lässt sich folglich nicht ermitteln, in welche Richtung sich die Farbe verändert hat. Die Abbildungen 7 und 8 sind aus diesem Grund kritisch zu betrachten. Um die absoluten Farbwerte beurteilen zu können, müssen die  $L^*a^*b^*$  Werte konsolidiert werden. Das CIE  $L^*a^*b^*$ -System erlaubt uns Farbveränderungen genau zu beschreiben. Obwohl  $\Delta E$  Werte bereits zwischen 1,0 und 3,7 visuell erkennbar sind (Seghi et al. 1989, Johnston & Kao 1989), zeigten Studien, dass die Akzeptanz für dentale Restaurationen bei  $\Delta E$  Werten von 2,72 bis 6,8 liegen (Ruyter et al. 1987, Ragain et al. 2000).

Im Gegensatz zu der als inert geltenden Keramik, welche aufgrund ihres hohen Anteils an Glasmatrix und ihrer Dichtigkeit kaum Verfärbung zeigt, da Farbpigmente kaum reagieren und sich anlagern können, und LAVA Ultimate führte das Einlegen in Kaffee bei den Compo-neers, den Venears und dem Komposit zu deutlich sichtbaren Farbveränderungen. Diese Farbveränderung ist durch das simulierte Zähneputzen teilweise reversibel und nähert sich

dadurch der Ausgangsfarbe wieder an. Dies spricht für eine Ein- und Auflagerung der Farbpigmente in der äussersten Schicht des Restaurationsmaterials. Die Ausgangswerte werden aber nicht mehr ganz erreicht. Es ist also davon auszugehen, dass der Kaffee auch zu einer Verfärbung der inneren Kompositschichten führte. Es wurde bereits früher beschrieben, dass sich Kaffee sowohl auf, als auch in der organischen Matrix des Komposits festsetzen kann (Bagheri et al. 2005, Um & Ruyter 1991).

Die PMMA's des Komposits verfügen nach der Polymerisation teilweise noch über freie C=C Doppelbindungen. Diese sind reaktiv und Farbpigmente können sich daher gut anlagern. Durch das Zahnbürsten wird die Rauigkeit des Komposits erhöht, dadurch kommt es zu einer Nischenbildung. Die Farbpigmente können sich in diesen Nischen einlagern, wodurch die Verfärbung verstärkt wird. Zudem sind die eingelagerten Pigmente etwas geschützt vor dem erneuten Zahnbürsten. Dadurch weist das Komposit starke Verfärbungen auf und zudem besteht am Ende der Versuchsreihe eine Farbdifferenz im Vergleich zur Ausgangssituation. Der letzte Zyklus des simulierten Zähneputzens wies den geringsten Einfluss auf die Farbveränderungen aller Materialien auf.

#### *4.3 Studienset-up*

Die Oberflächenrauigkeitsmessungen wurden mit einem Perthometer vorgenommen, welches die Messwerte per Tastschnittverfahren ermittelt. Die Oberfläche wird beim Tastschnittverfahren zweidimensional erfasst. Dabei wird eine diamantierte Messspitze mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche geführt. Das Messprofil wird dann anhand der vertikalen Lageverschiebung der Messspitze erfasst (Mahr GmbH – Ausgabe 1/09/99).

Eine andere Möglichkeit der Oberflächenrauigkeitsmessung stellt das Glossometer dar. Dieses misst den Glanz einer Oberfläche durch Reflektion eines Lichtstrahls, welcher auf die Oberfläche fällt. Gemessen wird die Stärke des reflektierten Lichtes vom Auftreffpunkt auf eine interne reflektierende Platte des Glossometers. Je nach Werkstoff muss jedoch ein anderer Einfallswinkel für das Licht gewählt werden. Zudem stellen konvexe Oberflächen zurzeit noch ein Problem dar, da sie nicht pauschal kompensiert werden können. Das heisst folglich, dass ein Glossometer insbesondere für die Messung der Veneers und Compoeneers nicht ideal gewesen wäre (Kalinna 2012).

Es wurde zudem gezeigt, dass die Glanzwerte keine direkte Korrelation zu den Ra Werten aufweisen. Zudem ist nur die Mikrorauigkeit mit den Glanzwerten korreliert, nicht aber die Makrorauigkeit einer Oberfläche (Kakaboura et al. 2007).

Die Farbveränderungen wurden mit dem Easyshade gemessen. Vor jeder Messung wurde jedoch der Grundton bereits von Auge bestimmt. Dabei wurde schon relativ gut ersichtlich, inwiefern sich die Farbe der Prüfkörper durch den vorausgegangenen Alterungsschritt verändert hatte. Die optischen Beurteilungen korrelierten daher weitestgehend mit den Easys-

habe Daten, wobei jedoch kleinere Farbveränderungen von Auge nicht so präzise erfasst werden konnten wie mit dem Messgerät.

Es wurden Serien von 20'000, 20'000 und 40'000 Bürstenstrichen für das simulierte Zähnebürsten gewählt. Dies mit der Annahme, dass 10'000 Bürstenstriche in etwa einem Jahr Zähneputzen in vivo entsprechen (Heintze & Forjanic, 2005). Somit simuliert der gesamte Versuchsablauf eine Beanspruchung von 8 Jahren Zähneputzen.

#### *4.4 Ausblick – Relevanz der Daten*

Lava Ultimate scheint eine gute Alternative bezüglich Oberflächen- und Farbbeständigkeit zur Keramik darzustellen. Die Componeers und Veneers wiesen eine schlechtere Beständigkeit auf. Bei diesen Materialien scheint es wichtig, dass die Oberfläche unberührt bleibt. Infolgedessen ist es vor allem bei den Veneers, die eine gelaserte Oberfläche haben, denkbar, dass es durch die Bearbeitung der Oberfläche zu erhöhten Rauigkeiten und Farbeinlagerungen kommen kann. Trotzdem wiesen beide Schalentypen im in-vitro Versuch, wo keine Oberflächenbearbeitung stattfand, deutliche Veränderungen auf die Alterungssimulation auf.

Enttäuschend schnitt das Kompositmaterial Empress direct ab. Dieses Produkt ist relativ neu auf dem Markt und es finden sich nur wenige Vergleichsdaten. Interessant wäre auf alle Fälle ein Vergleich der Componeers und Veneers mit einem Nanokomposit (z.B. Filtek supreme 3M Espe), welches für seine hohe Farbstabilität bekannt ist, um zu sehen, ob die beiden Komposite gleiche Resultate liefern.



## **5. Schlussfolgerung**

Die Keramik war erwartungsgemäss nicht anfällig auf die künstlichen Alterungsprozesse. Erstaunlicherweise verhielt sich das Lava Ultimate Material fast gleichwertig zur Keramik, was für eine hohe Langzeitstabilität des Materials spricht und zudem klinische Vorteile bei der Behandlung von Bruxern bieten könnte: dank gleicher Farbstabilität aber geringerer Materialhärte, könnte auf ein geringeres Frakturrisiko geschlossen werden.

Etwas enttäuschend war, dass das Kompositmaterial sehr starke Veränderungen im Bezug auf Oberflächenrauhigkeit und Farbe erfuhr. Das getestete Material ist explizit für die Versorgung von Zähnen im Frontzahnbereich gedacht und sollte deshalb eine grössere Materialstabilität aufweisen. Etwas besser – aber auch verbesserungswürdig waren die beiden Kompositschalen, welche bei sehr ausgedehnten Restaurationen bei mehreren Frontzähnen als Alternative eingesetzt werden können. Die industrielle Vorfertigung der Kompositschalen scheint nur einen geringen Effekt auf die Alterungsresistenz dieser Produkte zu haben. Die Kompositmaterialien müssen nach wie vor verbessert werden, damit sie den stetig steigenden Ansprüchen bezüglich Ästhetik der Patienten genügen können.

## **6. Zusammenfassung**

### **Oberflächenveränderung verschiedener zahnmedizinischer Werkstoffe nach in-vitro Alterung**

Ziel: Das Ziel dieser Studie war, das Verhalten verschiedener zahnmedizinischer Werkstoffe während verschiedener in vitro Alterungsprozessen zu untersuchen.

Material und Methoden: Es wurden je 15 Prüfkörper der folgenden fünf Materialien hergestellt: Keramik (K, Vita Mark II), Komposit (CM, Empress direct) LAVA Ultimate (LU), Componeer (CN) und Venear (VN). Die mittlere Oberflächenrauigkeit (Ra) sowie die kolorimetrischen Parameter ( $KP = L^*a^*b^*$  und  $\Delta E$ ) wurden erfasst. Die Prüfkörper durchliefen anschließend einen Alterungs-Zyklus mit Kaffee-Färbung und simuliertem Zähneputzen. Nach jedem Alterungsprozess wurden die Ra- und KP-Messungen wiederholt. Es erfolgte eine deskriptive Auswertung.

Resultate: Die tiefsten Ra-Werte wurden von K erzielt. Nur K und LU wiesen am Ende Werte unter  $0,2\ \mu\text{m}$ , dem Grenzwert der Bakterienretention, auf. Bei den Gruppen CM, CN und VN stiegen die Werte für Ra nach jedem Zyklus des simulierten Zähneputzens an. CM und CN zeigten die grössten Farbveränderungen. LU zeigte nach dem ersten Kaffee-Färben eine Farbveränderung, glich sich aber durch das simulierte Zähneputzen wieder an K an und zeigte wie letzteres bis zum Versuchsende lediglich geringe Farbveränderungen. Die Farbmessungen gegen schwarzen und weissen Hintergrund zeigten unterschiedliche absolute Farbwerte, die Farbdifferenzen waren jedoch vergleichbar.

Schlussfolgerung: K und LU zeigen nur geringgradige Alterung, wohingegen vor allem bei CM eine starke Alterung erfuhr. Die herkömmlichen CN lassen sich in ihren Werten mit den VN vergleichen. Erstere zeigen eine geringere Zunahme der Oberflächenrauigkeit, letztere hingegen weniger grosse Farbveränderungen. Nur K und LU konnten den Anforderungen bezüglich Ra und  $\Delta E$  im Testaufbau genügen.

## **7. Abstract**

### **Susceptibility of different restorative materials to toothbrush abrasion and coffee staining**

**Objective:** The aim of this study was to evaluate the susceptibility of different restorative materials to surface alterations after an aging simulation.

**Methods:** Specimens (n=15 per material) of five different restorative materials (CER: ceramic/Vita Mark II; EMP: composite/Empress Direct; LAV: CAD/CAM composite/Lava Ultimate; COM: prefabricated composite/Componeer; VEN: prefabricated composite/Venear) were produced. Whereas CER was glazed, EMP and LAV were polished with silicon polishers, and COM and VEN were left untreated. Mean roughness (Ra and Rz) and colorimetric parameters ( $L^*a^*b^*$ ), expressed as colour change ( $\Delta E$ ), were measured. The specimens underwent an artificial aging procedure. After baseline measurements (M1), the specimens were successively immersed for 24 hours in coffee (M2), abraded in a toothbrushing simulator (M3), immersed in coffee (M4), abraded (M5) and repeatedly abraded (M6). After each aging procedure (M2-M6), surface roughness and colorimetric parameters were recorded. Differences between the materials regarding Ra/Rz and  $\Delta E$  were analysed with a nonparametric ANOVA analysis. The level of significance was set at  $\alpha=0.05$ .

**Results:** The lowest roughness values were obtained for CER. A significant increase in Ra was detected for EMP, COM and VEN compared to CER. The Ra/Rz values were found to be highly significantly different for the materials and measuring times (M) ( $p<0.0001$ ). Regarding  $\Delta E$  most alterations were found for EMP and COM, whereas CER and LAV remained mostly stable. The  $\Delta E$  values were significantly different for the materials and M ( $p<0.0001$ ).

**Conclusion:** The ceramic and the CAD/CAM composite were the most stable materials with regard to roughness and colour change and the only materials that resulted in Ra values below  $0.2\ \mu\text{m}$  (the clinically relevant threshold). Veneers and Componeers were more inert than the direct composite material and thus might be an alternative for extensive restorations in the aesthetic zone.

## **8. Danksagung**

Zunächst möchte ich mich herzlich bei Dr. Brigitte Zimmerli für ihre Unterstützung als meine Betreuerin bedanken. Ihre motivierende Unterstützung und Begleitung war unbezahlbar für die Entstehung dieser Arbeit. Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Adrian Lussi als Direktor der Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin. Ein weiteres Dankeschön geht an die Laborantinnen Brigitte Megert und Barbara Beyeler, welche mir bei jeglichen Fragen bezüglich der Laborarbeit tatkräftig zur Seite standen.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Frau Jasmin Wandel aus dem Institut für mathematische Statistik und Versicherungslehre (Universität Bern) für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Danke auch den Firmen, welche grosszügig ihre Materialien zur Verfügung gestellt haben: VITA für die Vitablocs und das Easyshade-Messgerät; Ivoclar Vivadent für das EPS Empress, 3MESPE für die LAVA-Ultimate-Blöcke, Coltène/Whaladent für die Componeers; Edelweiss Dentistry für die Veneers.

## **9. Referenzen**

### *9.1 Literaturverzeichnis*

Azer SS, Hague AL, Johnston WM (2010) Effect of pH on tooth discoloration from food colorant in vitro. *Journal of Dentistry*; **38**s:e106-e109

Bagheri R, Burrow MF, Tyas M (2005) Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *Journal of Dentistry*; **33**:389-398

Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M (1997) Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater*; **13**:158-269

Brunner E, Domhof S, Langer F (2002) Nonparametric analysis of longitudinal data in factorial designs. Wiley, New York.

Burkhard H, Witzel T, Klaiber B (2005) Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Invest*; **9**:244-250

C.I.E. Commission International de L'Eclairage (1976).  
<[http://www.cie.co.at/index.php/index.php?i\\_ca\\_id=485](http://www.cie.co.at/index.php/index.php?i_ca_id=485)> (28.01.2013)

da Costa J, Adams-Belusko A, Riley K, Ferracane JL (2010) The effect of various dentifrices on surface roughness and gloss of resin composites. *Journal of Dentistry*; **38**:e123-e128

Dozić A, Kleeverlan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G (2007) Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont*; **16**(2):93-100

Emami N, Söderholm KJM (2005) Influence of light-curing procedures and photo-initiator/co-initiator composition on the degree of conversion of light-curing resins. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*; **16**:47-52

Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC (2008) Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *Journal of Dentistry*; **36**:945-952

Heintze SD, Forjanic M (2005) Surface roughness of different dental materials before and after simulated toothbrushing in vitro. *Oper Dent*; **30**(5):617-626

Heintze SD, Forjanic M, Ohmiti, Rousson V (2010) Surface deterioration of dental materials after simulated toothbrushing in relation to brushing time and load. *Dent Mater J*; **26**:306-319

Johnston WM, Kao EC (1989) Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res*; **68**:819–822

Jones CS, Billington RW, Pearson GJ (2004) The in vivo perception of roughness of restorations. *Br Dent J*; **196**:42–45

Kalinna G. <<http://www.erichsen.de/service/fachartikel/oberflaechenpruefung/glaenzende-qualitaet>> (16.10.2013)

Kakaboura A, Fragouli M, Rahiotis C, Silikas N (2007) Evaluation of surface characteristics of dental composite using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *J Mater Sci: Mater Med*; **18**:155–163

Mahr GmbH – Ausgabe 1/09/99. <<http://langer-hydraulik.de/pdf/mahr/rauhigkeit.pdf?PHPSESSID=bb406eb2e6ac94226f6c192fcae8e12>> (14.10.2013)

Nasim I, Neelakantan P, Sujer R, Subbarao CV (2010) Color stability of microfilled, microhybrid and nanocomposite resins – An in vitro study. *Journal of Dentistry*; **38**:e137-e142

Neme AM, Wagner WC, Pink FE, Frazier KB (2003) The effect of prophylactic polishing pastes and toothbrushing on the surface roughness of resin composite materials in vitro. *Oper Dent*; **28**(6):808-15

Pontefract H, Courtney M, Smith S, Newcombe RG, Addy M (2004) Development of methods to enhance extrinsic tooth discoloration for comparison of toothpastes 2. Two-product clinical study. *J Clin Periodontol*; **31**:7-11

Ragain JC Jr, Johnston WM (2000) Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res Appl*; **25**:278–285

Ruyter IE, Nilner K, Moller B (1987) Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater*;3:246–251

Seghi RR, Hewlett ER, Kim J (1989) Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences in translucent dental porcelain. *J Dent Res*;68:1760–1764

Shin DH, Rawls RH (2009) Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. *Dent Mater*;25:1030-1038

Solares LE, Cesat IC, Santos CG, De Cardoso AL, Liporoni PC, Munin E, Martin AA (2007) Influence of coffee on reflectance and chemistry of resin composite protected by surface sealant. *Am J Dent*;20(5):299-304

Suzuki T, Kyoizumi H, Finger WJ, Kanehira M, Endo T, Utterodt A, Hisamitsu H, Komatsu M (2009) Resistance of nanofill and nanohybrid resin composites to toothbrush abrasion with calcium carbonate slurry. *Dent Mater*;28(6):708-716

Um CM, Ruyter IE (1991) Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int*;22(5):377-386

Zimmerli B, Koch T, Flury S, Lussi A (2011) The influence of toothbrushing and coffee staining on different composite surface coatings. *Clin Oral Invest*;16(2):469-479

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Studiensetup. Darstellung der einzelnen Alterungsvorgängen mit Einlegen in Kaffee und simuliertem Zahnbürsten. Eigene Darstellung.

Abb. 2: Berechnung des Rauigkeitswertes  $R_a$  mit der Distanz  $l_m$  [m], welche die Schreibspitze auf dem Prüfkörper zurücklegt.  $R$  ist die Kurve der Rauigkeit. Verändert nach: Verband der Keramischen Industrie e.V.: Oberflächen.

<[http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/10/5/4/10\\_5\\_4.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/10/5/4/10_5_4.htm)> (07.10.2013)

Abb.3: Berechnung des Rauigkeitswertes  $R_z$  bestehend aus dem Mittelwert von  $R_{z1}$  bis  $R_{z5}$ .  $R$  und  $l_m$  siehe Abbildung 2,  $l_e$  ist die Länge eines einzelnen Messabschnittes. Verband der Keramischen Industrie e.V.: Oberflächen.

<[http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/10/5/4/10\\_5\\_4.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/10/5/4/10_5_4.htm)> (07.10.2013)

Abb. 4: Median  $R_a$  der untersuchten Materialien. Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

Abb. 5: Median  $R_z$  der untersuchten Materialien. Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

Abb. 6: Median von  $\Delta E$  zu M1 bei schwarzem Hintergrund der untersuchten Materialien. Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

Abb. 7: Median von  $\Delta E$  zu M1 bei weissem Hintergrund der untersuchten Materialien. Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

### *9.3 Tabellenverzeichnis*

Tabelle 1: Verwendete Materialien für die Prüfkörper. Eigene Darstellung.

Tabelle 2: Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten:  $R_a$ . Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

Tabelle 3: Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten:  $R_z$ . Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

Tabelle 4: Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten:  $\Delta E$  zu M1 bei schwarzem Hintergrund. Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern

Tabelle 5: Nichtparametrisches Modell für longitudinale Daten:  $\Delta E$  zu M1 bei weissem Hintergrund. Jasmin Wandel, Departement für Mathematik und Statistik, Institut für math. Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern



## 10. Anhang

Zu Abb. 4: Zusammenfassung der Rohdaten für Ra

<b>Keramik</b>		<b>Ra Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,046</b>	0,030	0,037	0,026	0,143
nach Kaffee	M2	<b>0,025</b>	0,055	0,037	0,026	0,248
nach Bürsten 20'000	M3	<b>0,037</b>	0,007	0,037	0,026	0,047
nach Kaffee	M4	<b>0,038</b>	0,009	0,037	0,023	0,061
nach Bürsten 20'000	M5	<b>0,039</b>	0,006	0,038	0,032	0,054
nach Bürsten 40'000	M6	<b>0,047</b>	0,012	0,044	0,033	0,080
<b>Empress Direct</b>		<b>Ra Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,114</b>	0,021	0,120	0,078	0,152
nach Kaffee	M2	<b>0,109</b>	0,019	0,110	0,074	0,154
nach Bürsten 20'000	M3	<b>0,831</b>	0,733	0,633	0,184	2,736
nach Kaffee	M4	<b>0,805</b>	0,657	0,486	0,185	2,244
nach Bürsten 20'000	M5	<b>1,837</b>	1,618	1,229	0,271	4,850
nach Bürsten 40'000	M6	<b>4,335</b>	3,069	3,219	0,583	10,107
<b>Lava Ultimate</b>		<b>Ra Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,237</b>	0,040	0,243	0,173	0,300
nach Kaffee	M2	<b>0,217</b>	0,045	0,215	0,141	0,288
nach Bürsten 20'000	M3	<b>0,168</b>	0,043	0,159	0,115	0,259
nach Kaffee	M4	<b>0,163</b>	0,037	0,149	0,123	0,247
nach Bürsten 20'000	M5	<b>0,160</b>	0,059	0,146	0,070	0,245
nach Bürsten 40'000	M6	<b>0,168</b>	0,045	0,151	0,112	0,263
<b>Componeer</b>		<b>Ra Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,099</b>	0,043	0,085	0,045	0,179
nach Kaffee	M2	<b>0,079</b>	0,023	0,077	0,050	0,125
nach Bürsten 20'000	M3	<b>0,330</b>	0,194	0,268	0,157	0,963
nach Kaffee	M4	<b>0,344</b>	0,134	0,326	0,158	0,568
nach Bürsten 20'000	M5	<b>0,567</b>	0,393	0,500	0,207	1,813
nach Bürsten 40'000	M6	<b>1,162</b>	1,124	0,621	0,267	4,170
<b>Venear</b>		<b>Ra Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,131</b>	0,038	0,132	0,069	0,196
nach Kaffee	M2	<b>0,145</b>	0,041	0,136	0,097	0,238
nach Bürsten 20'000	M3	<b>0,281</b>	0,145	0,253	0,121	0,748
nach Kaffee	M4	<b>0,285</b>	0,193	0,249	0,126	0,958
nach Bürsten 20'000	M5	<b>0,426</b>	0,278	0,317	0,242	1,316
nach Bürsten 40'000	M6	<b>0,531</b>	0,403	0,453	0,229	1,953

Zu Abb. 5: Zusammenfassung der Rohdaten für Rz

<b>Keramik</b>		<b>Rz Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,180</b>	0,033	0,177	0,143	0,257
nach Kaffee	M2	<b>0,179</b>	0,033	0,190	0,123	0,237
nach Bürsten 20'000	M3	<b>0,174</b>	0,030	0,167	0,137	0,247
nach Kaffee	M4	<b>0,184</b>	0,045	0,173	0,137	0,293
nach Bürsten 20'000	M5	<b>0,183</b>	0,037	0,173	0,143	0,278
nach Bürsten 40'000	M6	<b>0,246</b>	0,079	0,227	0,150	0,420
<b>Empress Direct</b>		<b>Rz Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,635</b>	0,101	0,623	0,477	0,873
nach Kaffee	M2	<b>0,672</b>	0,127	0,643	0,477	0,917
nach Bürsten 20'000	M3	<b>3,787</b>	2,568	2,943	1,230	10,437
nach Kaffee	M4	<b>3,881</b>	2,670	2,650	1,213	10,023
nach Bürsten 20'000	M5	<b>6,813</b>	5,217	4,873	1,650	15,933
nach Bürsten 40'000	M6	<b>15,823</b>	11,543	11,590	2,557	36,867
<b>Lava Ultimate</b>		<b>Rz Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>1,571</b>	0,284	1,643	1,080	1,910
nach Kaffee	M2	<b>1,473</b>	0,284	1,567	1,007	1,853
nach Bürsten 20'000	M3	<b>1,048</b>	0,266	1,017	0,720	1,577
nach Kaffee	M4	<b>1,029</b>	0,251	0,910	0,723	1,557
nach Bürsten 20'000	M5	<b>0,958</b>	0,366	0,950	0,450	1,667
nach Bürsten 40'000	M6	<b>0,964</b>	0,282	0,883	0,657	1,587
<b>Componeer</b>		<b>Rz Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,561</b>	0,304	0,553	0,203	1,277
nach Kaffee	M2	<b>0,468</b>	0,184	0,353	0,260	0,763
nach Bürsten 20'000	M3	<b>1,874</b>	0,845	1,690	1,050	4,460
nach Kaffee	M4	<b>1,938</b>	0,690	1,687	1,050	3,177
nach Bürsten 20'000	M5	<b>2,719</b>	1,759	2,440	1,220	8,457
nach Bürsten 40'000	M6	<b>5,128</b>	5,347	2,670	1,427	21,283
<b>Venear</b>		<b>Rz Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Start	M1	<b>0,404</b>	0,139	0,403	0,203	0,613
nach Kaffee	M2	<b>0,303</b>	0,082	0,267	0,217	0,483
nach Bürsten 20'000	M3	<b>1,552</b>	0,733	1,440	0,520	3,703
nach Kaffee	M4	<b>1,576</b>	0,987	1,420	0,467	4,907
nach Bürsten 20'000	M5	<b>2,140</b>	1,076	1,780	1,307	5,743
nach Bürsten 40'000	M6	<b>2,872</b>	1,493	2,570	1,237	7,860

Zu Abb. 6: Zusammenfassung der Rohdaten für  $\Delta E$  zu M1 bei schwarzem Hintergrund

Schwarzer Hintergrund		(M1)	(M2)	(M3)	(M4)	B(M5)	(M6)
<b>Keramik</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>1,08</b>	<b>1,44</b>	<b>1,55</b>	<b>1,53</b>	<b>1,80</b>
	Standardabweichung	0,00	0,59	0,94	0,96	1,04	1,27
<b>Empress Direct</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>9,57</b>	<b>3,56</b>	<b>10,32</b>	<b>3,68</b>	<b>2,58</b>
	Standardabweichung	0,00	3,74	3,31	4,34	2,78	2,87
<b>Lava Ultimate</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>4,11</b>	<b>1,07</b>	<b>1,94</b>	<b>1,13</b>	<b>1,11</b>
	Standardabweichung	0,00	1,04	0,53	0,47	0,63	0,41
<b>Componeer</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>11,03</b>	<b>4,55</b>	<b>10,27</b>	<b>5,25</b>	<b>6,14</b>
	Standardabweichung	0,00	2,95	2,43	4,30	2,68	5,29
<b>Veneer</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>6,54</b>	<b>3,34</b>	<b>6,67</b>	<b>3,69</b>	<b>3,65</b>
	Standardabweichung	0,00	3,73	2,64	3,93	2,76	2,29

Zu Abb. 7: Zusammenfassung der Rohdaten für  $\Delta E$  zu M1 bei weissem Hintergrund

Weisser Hintergrund		(M1)	(M2)	(M3)	(M4)	(M5)	(M6)
<b>Keramik</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>1,03</b>	<b>1,13</b>	<b>1,31</b>	<b>1,29</b>	<b>1,51</b>
	Standardabweichung	0,00	0,95	0,91	0,72	0,98	1,20
<b>Empress Direct</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>8,54</b>	<b>3,00</b>	<b>9,22</b>	<b>2,70</b>	<b>1,40</b>
	Standardabweichung	0,00	3,17	2,00	3,96	1,66	0,75
<b>Lava Ultimate</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>3,87</b>	<b>0,95</b>	<b>1,79</b>	<b>1,10</b>	<b>0,86</b>
	Standardabweichung	0,00	1,02	0,39	0,34	0,65	0,43
<b>Componeer</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>10,83</b>	<b>4,09</b>	<b>10,06</b>	<b>4,22</b>	<b>4,28</b>
	Standardabweichung	0,00	2,98	1,85	4,02	2,59	2,42
<b>Veneer</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>0,00</b>	<b>6,56</b>	<b>3,10</b>	<b>6,60</b>	<b>3,59</b>	<b>3,23</b>
	Standardabweichung	0,00	3,19	2,61	3,96	3,30	2,51